

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПЕРЕЧНОГО РАЗМЕРА ЭЛЕКТРОННОГО ПУЧКА ПО
СФОКУСИРОВАННОМУ КОГЕРЕНТНОМУ ПЕРЕХОДНОМУ ИЗЛУЧЕНИЮ**Т.М. Гусвицкий

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н А.П. Потылицын
Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Россия, г. Томск, пр. Ленина, 30, 634050
E-mail: tmg3@tpu.ru

**IMAGE OF ELECTRON BEAM TRANSVERSE PROFILE VIA COHERENT OPTICAL
TRANSITION RADIATION**T.M. Gusvitskii

Scientific Supervisor: Prof., Dr. A.P. Potylitsyn
Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050
E-mail: tmg3@tpu.ru

Abstract. *The coherent optical transition radiation from electron beam was simulated. The dependence between parameters of the COTR beam image and beam transverse profile was determined. The possibility of using lens screening was examined. Mentioned technique allows one to simplify the image readout and increase the resolution of COTR imaging. It was found that the most optimal way of screening is a half-screening of the lens. In that regime it becomes possible to get rid of double-lobe structure of COTR image without further decrease in radiation intensity.*

Введение. Диагностика электронных пучков по оптическому переходному излучению (ОПИ) является основным методом измерения поперечного профиля пучка на современных линейных ускорителях. Переходное излучение испускается при пересечении зарядом границы раздела двух сред с разными значениями диэлектрической проницаемости. Нестабильности во время ускорения пучков субпикосекундной длительности в современных ускорителях могут способствовать появлению неоднородностей внутри пучка с размерами порядка несколько микрон, что становится сравнимо с длиной волны видимого света. При таких условиях переходное излучение от таких пучков становится когерентным уже в оптическом диапазоне, и традиционные методы диагностики электронных пучков по сфокусированному переходному излучению теряют свою применимость. Изображение на детекторе, генерируемое сфокусированным линзой когерентным переходным излучением, будет представлять собой кольцевую структуру, для которой, в отличие от одномодовой структуры, характерной для некогерентного переходного излучения, отсутствует методика получения поперечного размера сгустка из результатов измерений [1]. В докладе представлена модель, связывающая поперечный размер пучка с радиусом кольцевой структуры и предложено экранирование фокусирующей линзы для улучшения пространственного разрешения [2].

Методы исследования. Моделирование распределения когерентного оптического переходного излучения проводилось в программе WolframMathematica. Для наглядности расчеты проводятся только

для х-компоненты излучения. Схема наблюдения когерентного оптического переходного излучения с помощью фокусирующей оптической системы представлена на рис 1.

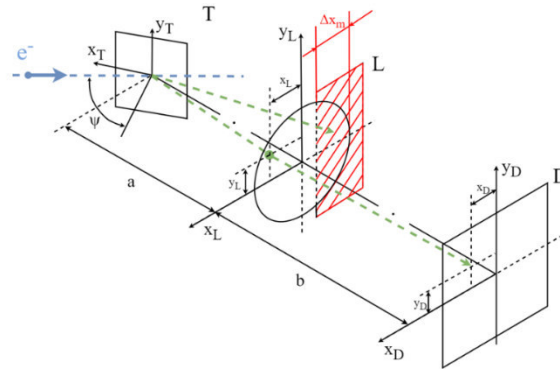


Рис. 1. Схема оптической системы для фокусировки линзой когерентного переходного излучения на поверхности детектора

Расчет поля ОПИ для х-компоненты проводился по следующей формуле [3]:

$$E_{\{x,y\}}^D(x_D, y_D, x_0, y_0) = \text{const} \int dx_T dy_T dx_L dy_L \frac{\{x_T - x_0, y_T - y_0\}}{\sqrt{(x_T - x_0)^2 + (y_T - y_0)^2}} \times \\ \times K_1 \left(\sqrt{(x_T - x_0)^2 + (y_T - y_0)^2} \right) \exp \left[i \frac{x_T^2 + y_T^2}{4\pi R} \right] \times \exp \left[-i(x_T x_L + y_T y_L) \right] \exp \left[-i \left(x_L \frac{x_D}{M} + y_L \frac{y_D}{M} \right) \right], \quad (1)$$

В формуле (1) используются безразмерные переменные: $\{x_{T,D}, y_{T,D}\} = \frac{2\pi}{\gamma\lambda} \cdot \{X_{T,D}, Y_{T,D}\}$ – координаты на поверхности мишени детектора; $\{x_L, y_L\} = \frac{\gamma}{a} \cdot \{X_L, Y_L\}$ – координаты на поверхности линзы; $R = \frac{a}{\lambda\gamma^2}$ – параметр, характеризующий дальнюю зону [4]; $x_0 = \frac{2\pi}{\gamma\lambda} \cdot X_0$ – смещение электрона от центра мишени по x; M – оптическое усиление линзы, K_1 – модифицированная функция Бесселя второго рода. Моделирование частичного экранирования линзы проводится при вычислении внутреннего интеграла выражения (1) по области линзы, которая останется не заслоненной экраном $(-x_m + \Delta x_m \leq x_L \leq x_m, -y_m \leq y_L \leq y_m)$. Для расчета когерентного переходного излучения нужно произвести свертку поля (1) с распределением электронов в поперечном сечении сгустка. Как правило, это распределение описывается Гауссианом:

$$\rho(x_0, y_0) = \frac{1}{2\pi\sigma_x\sigma_y} \exp \left[-\frac{x_0^2}{2\sigma_x^2} - \frac{y_0^2}{2\sigma_y^2} \right], \quad (2)$$

где $\sigma_{\{x,y\}} = \frac{2\pi}{\gamma\lambda} \cdot \Sigma_{\{x,y\}}$ – размер пучка по x и соответственно, выраженный в безразмерных единицах.

Интенсивность будет равна квадрату модуля свертки распределения электронов с полем ПИ каждого электрона:

$$\frac{d^2 W_x^{\text{coh}}}{dx_D dy_D}(x_D, y_D, \sigma_x, \sigma_y) = \text{const} \left| \int_{-3,5\sigma_x}^{3,5\sigma_x} dx_0 \rho(x_0, y_0) E_{\{x,y\}}^D(x_D, y_D, x_0, y_0) \right|^2. \quad (3)$$

Результаты. На рисунке 2а приведены результаты расчета по формуле (3), иллюстрирующие изменение распределения когерентного ОПИ в зависимости от поперечного размера пучка. На рисунке 2б приведены те же распределения, только для случая половинного экранирования линзы оптической системы.

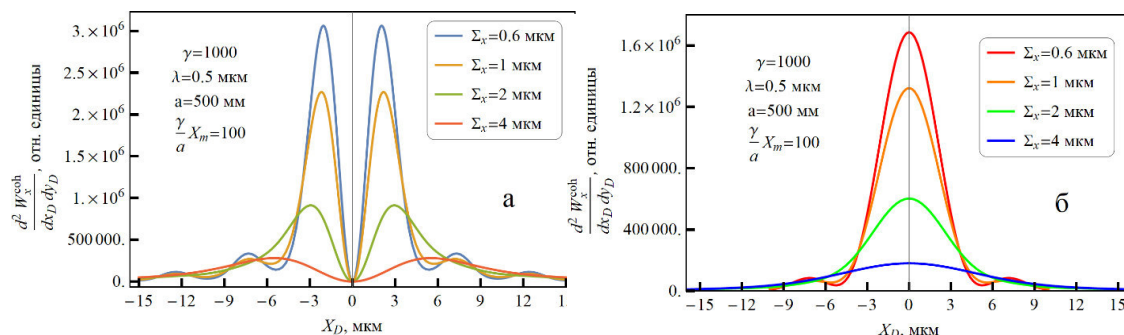


Рис. 2. Распределение интенсивности когерентного ОПИ в плоскости детектора для различных размеров пучка электронов при открытой линзе (а) и наполовину экранированной линзе (б)

На рисунке 3 приведены зависимости параметров полученных распределений (положение максимума и FWHM) от поперечного размера электронного пучка.

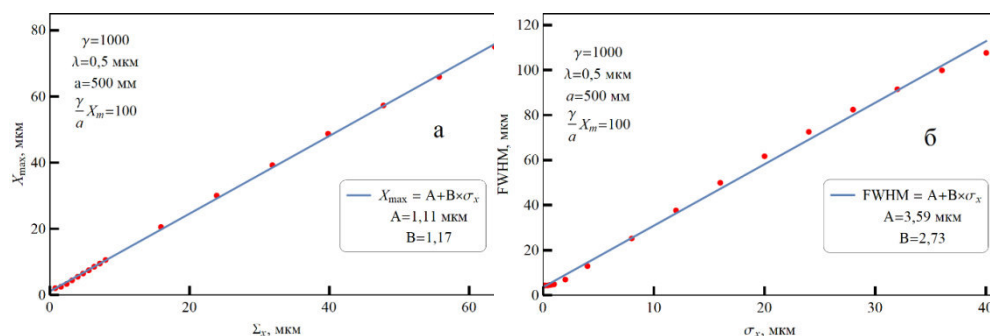


Рис. 3. Зависимости параметров распределения интенсивности когерентного оптического переходного излучения в плоскости детектора от поперечного размера электронного пучка. а – для случая открытой линзы; б – для случая наполовину закрытой линзы

Заключение. Полученные зависимости, связывающие параметры распределения интенсивности когерентного оптического переходного излучения с поперечным размером электронного пучка, можно использовать для определения размеров электронных пучков в реальных экспериментах. Разрешение предложенного метода можно повысить с помощью частичного экранирования линзы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Artru X., Chehab R., Honkavaara K., Variola A. / Nucl. Instrum. and Meth. B – 1998. – №145. – P.160–168.
2. Potylitsyn A., Sukhikh L., Kube G., and Novokshonov A. / Spatial resolution improvement for an optical transition radiation monitor by asymmetric light collection // Opt. Express 2018. – № 26. – P. 30231-30244.
3. Potylitsyn A. IMAGE OF OPTICAL DIFFRACTION RADIATION (ODR) SOURCE AND SPATIAL RESOLUTION OF ODR BEAM PROFILE MONITOR. – 2006. DOI: 10.1007/1-4020-3450-4_12.
4. Verzilov V.A. Transition radiation in the pre-wave zone // Physics Letters A. – 2000. – V. 27(1-2). – P. 135-140.